



3. 人類視覺系統

3.1 光

3.2 人類視覺系統的架構

3.3 人類視覺的特性

3.4 人類視覺與電腦視覺比較



- ✿ 視覺是人類最重要的知覺，而視覺中最重要的是色彩與立體感覺。
- ✿ 有光 (light) 人類才有視覺。
- ✿ 光是一種電磁波；顏色完全是不同波長的電磁波刺激眼睛視網膜上的三種錐狀感光細胞 (cone) 所造成的。
- ✿ 三種錐狀細胞受光線刺激後會產生脈衝 (impulse) 傳輸到大腦的視覺皮質 (visual cortex)。三種錐狀細胞各有其不同的感光曲線，因而可以在視覺皮質中組合出多種不同的感受，不同的感受造成不同顏色的認知。



- ✿ 顏色完完全全是眼睛的感受；也就是顏色是大腦所產生的感知，而不是存在我們的環境中。
- ✿ 顏色的認知是後天學習而來的，不是與身俱來。
- ✿ 立體視覺是由雙眼或動態資訊衍生而來的，立體視覺也是後天學習而來的，不是與身俱來。



3.1 光

- ✿ 人類對於光的認知，一開始認為光是由粒子所組成的 (牛頓 Sir Isaac Newton, 1666)；後來經過多位科學家的實驗 (海更斯 Christiaan Huygens, 1678; 楊 Thomas Young, 1801; 麥斯威爾 James Clerk Maxwell, 1863)，證實了光是一種電磁波 (電磁輻射波 electromagnetic radiation)。



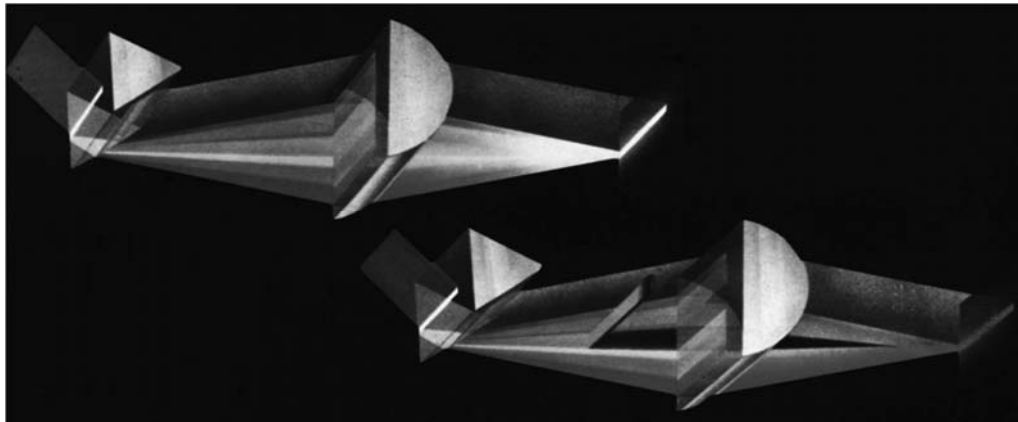
- ✿ 但後來又經由多位科學家的實驗 (赫茲 Heinrich Rudolf Hertz, 1888; 普朗克 Max Planck, 1900; 愛因斯坦 Albert Einstein, 1905, 1916; 布羅格里 Louis de Broglie, 1924; 波爾 Niels Bohr, 1928; 戴維生 Clinton Davisson, and 哥門 Lester Germer, 1952; ..等)，除了證實光是一種電磁波外，還具有粒子的特性；而光粒子稱為光量子 (light quantum) 簡稱為光子 (photon)，就是電磁波的量子。而光的產生則是圍繞著原子核運行的電子，從穩定或不穩定的高位能軌道進入低位能軌道時所輻射出來的光子或能量。



- ✿ 電磁波可以表示成頻譜能量的分佈 (spectral energy distribution)；也可以表示為波長的函數，用 $L(\lambda)$ 符號表示，其中 λ 是波長。不同波長的光具有不同的能量，波長愈短，頻率愈高，能量愈高。電磁波的波長變化範圍非常大，從最短的宇宙光 (10^{-5} 奈米 (nm)) 到最長的電子能量波 (3,100 哩 (mile))。
- ✿ 並不是每一種波長的電磁波都會刺激眼睛，其中只有大約介於 380 到 780 奈米波長的光會刺激眼睛，稱為可見光 (visible light)。不過一般人對於 700 奈米波長以上的光就很不敏感了；
 $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.



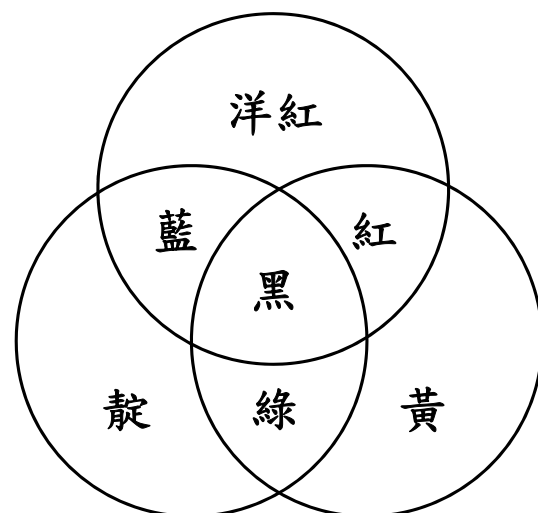
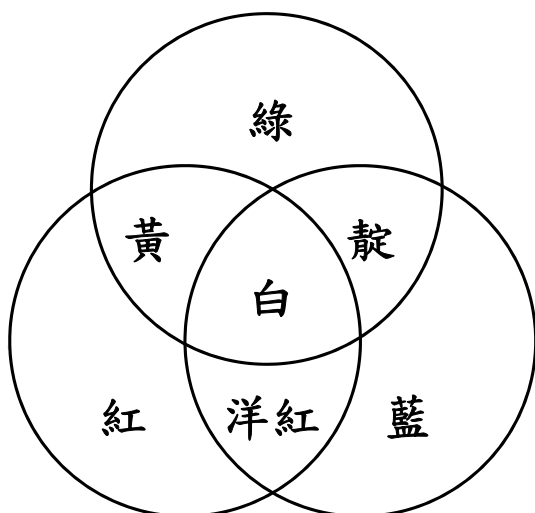
- ✿ 將三稜鏡分散出來的顏色光遮掉部份，剩餘的顏色光再透過半圓柱面鏡聚合在一起，會出現其他種顏色光。



- ✿ 這是基本三顏色的原理；只要用三種基本顏色光(例如，紅藍綠)，依照不同比例混合，就可創造出各種不同的顏色來；例如，電視機、投影機、彩色印表機等，都是利用這種原理製造出彩色的。



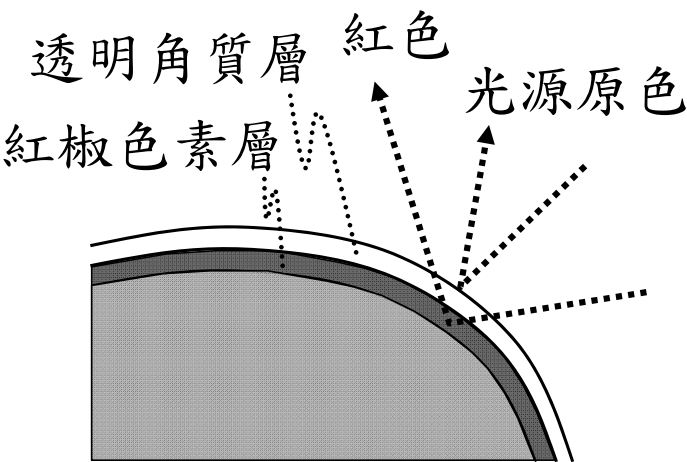
- ✿ 1931年國際照明委員會 (CIE) 利用色彩科學的原理及人眼視網膜上的錐狀細胞對光線的感受特性，製訂出三種基本顏色 (primary color)。以電磁波波長 435.8 奈米的顏色作為標準藍色 (B)、波長 546.1 奈米為綠色 (G)、波長 700 奈米為紅色 (R) : blue: 435.8nm, green: 546.1nm, red: 700nm.



🌸 日常生活中，我們所看到的大部份物體本身並不會發光，而是反射光源的光。所以我們看到該物體的顏色 (reflective light) 是光源顏色 (source light) 減掉物體表面材質吸收 (absorbed light) 後所呈現的顏色。



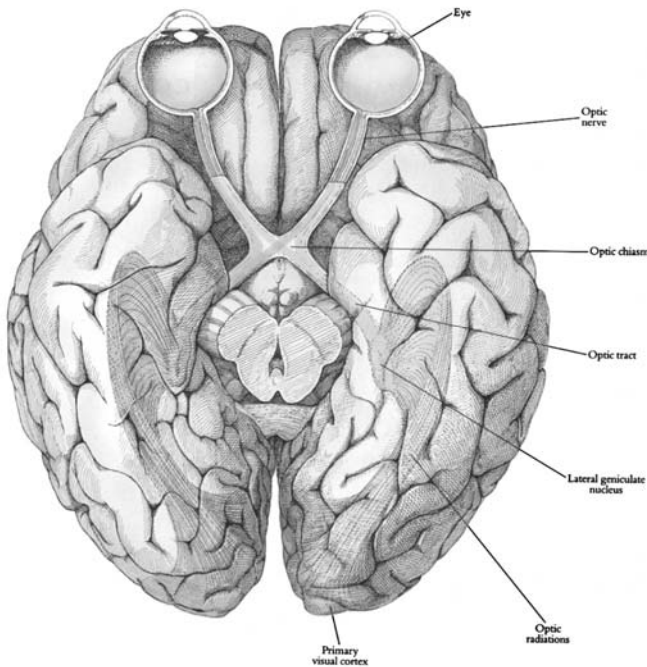
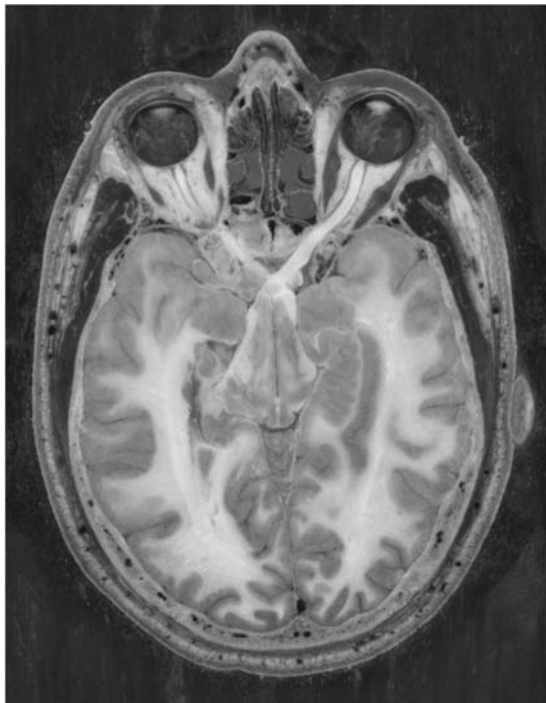
紅椒青椒影像。



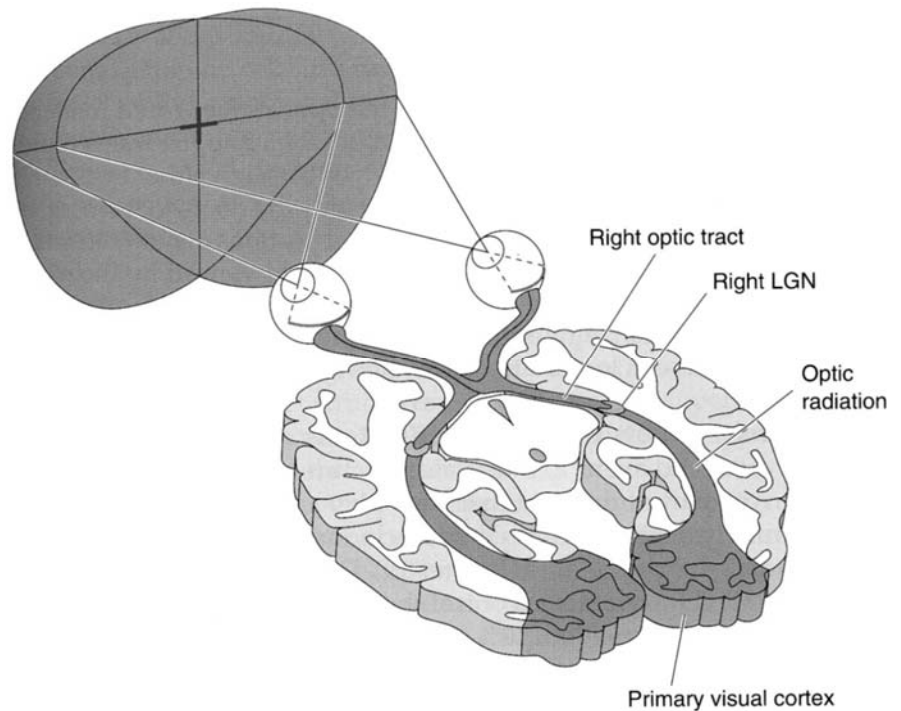
不同的反射顏色。

3.2 人類視覺系統的架構

🌸 人類頭顱的水平切面上視圖 (美國醫學圖書館 (NLM) 提供)

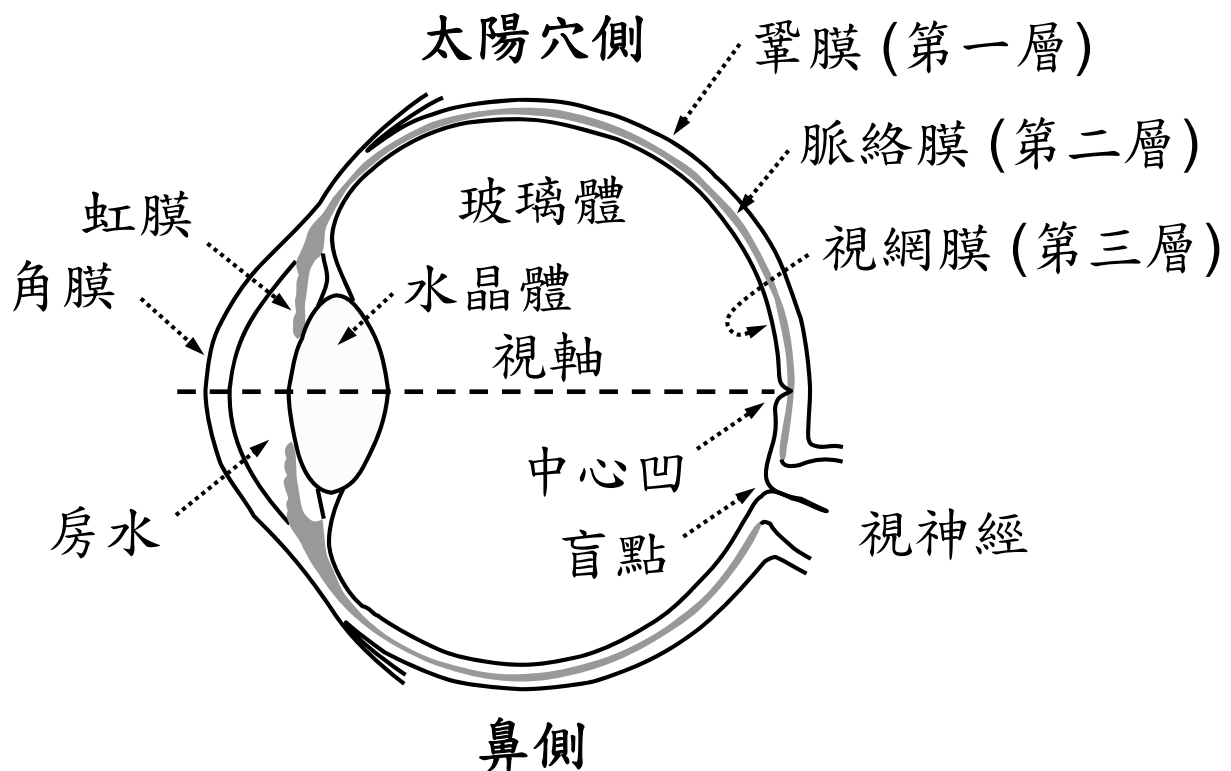


- ❁ 人類視覺神經有一特殊的結構，稱為半交錯 (semidecussation) 神經系統。
- ❁ 一個眼睛所看到的視覺信號會分別送到左右大腦的基本視覺皮質區 (primary visual cortex)；該結構是人類推論立體視覺重要的根據。



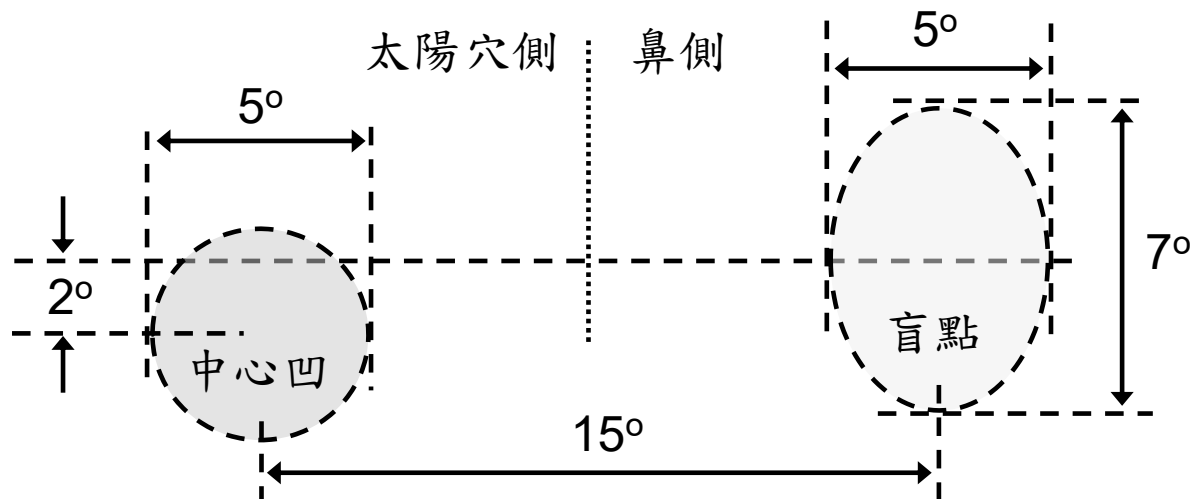
3.2.1 眼球結構

- ❁ 人類眼球的結構，這是右眼球的水平切面上視圖。

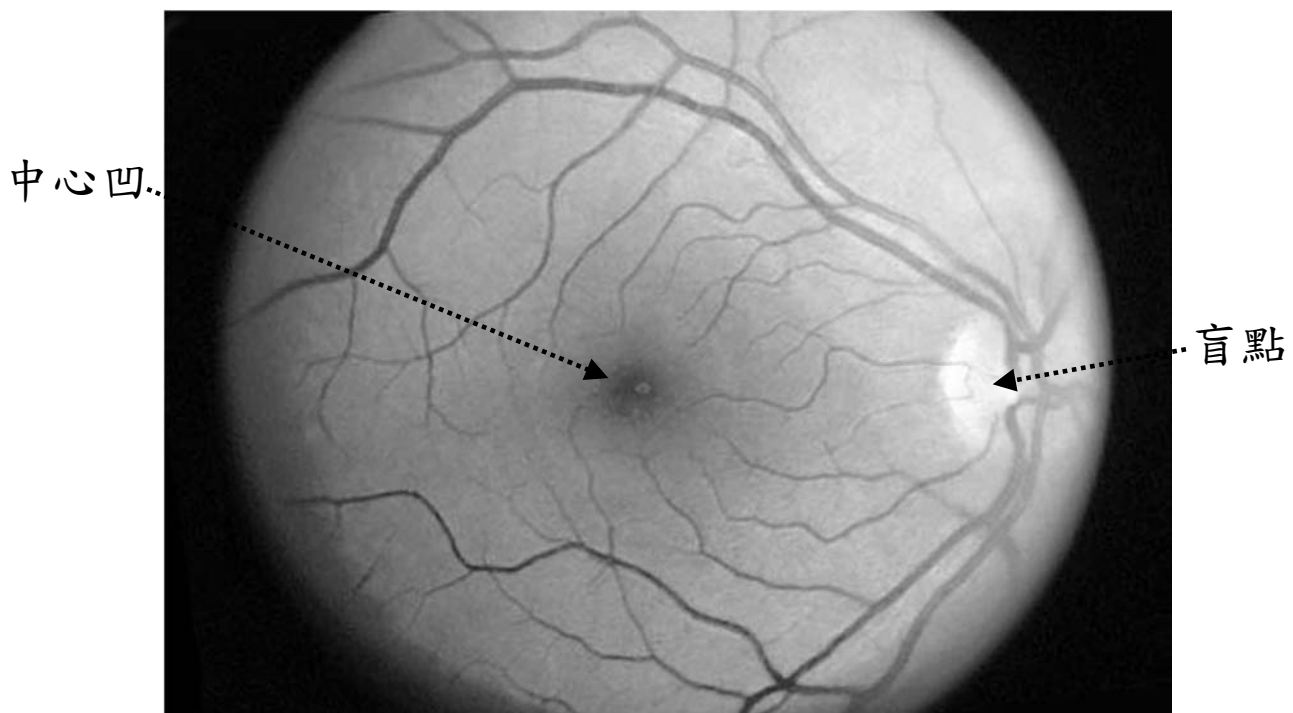


3.2.2 中心凹與盲點

- ❁ 中心凹 (fovea) 與盲點 (blind spot) 是視網膜上最重要的二個特徵點，一個對顏色最敏感，一個是完全不能感光。
- ❁ 中心凹在臉的外側，盲點在臉的內側。中心凹與盲點兩個位置的水平差約 15° ，上下差異約 2° 。



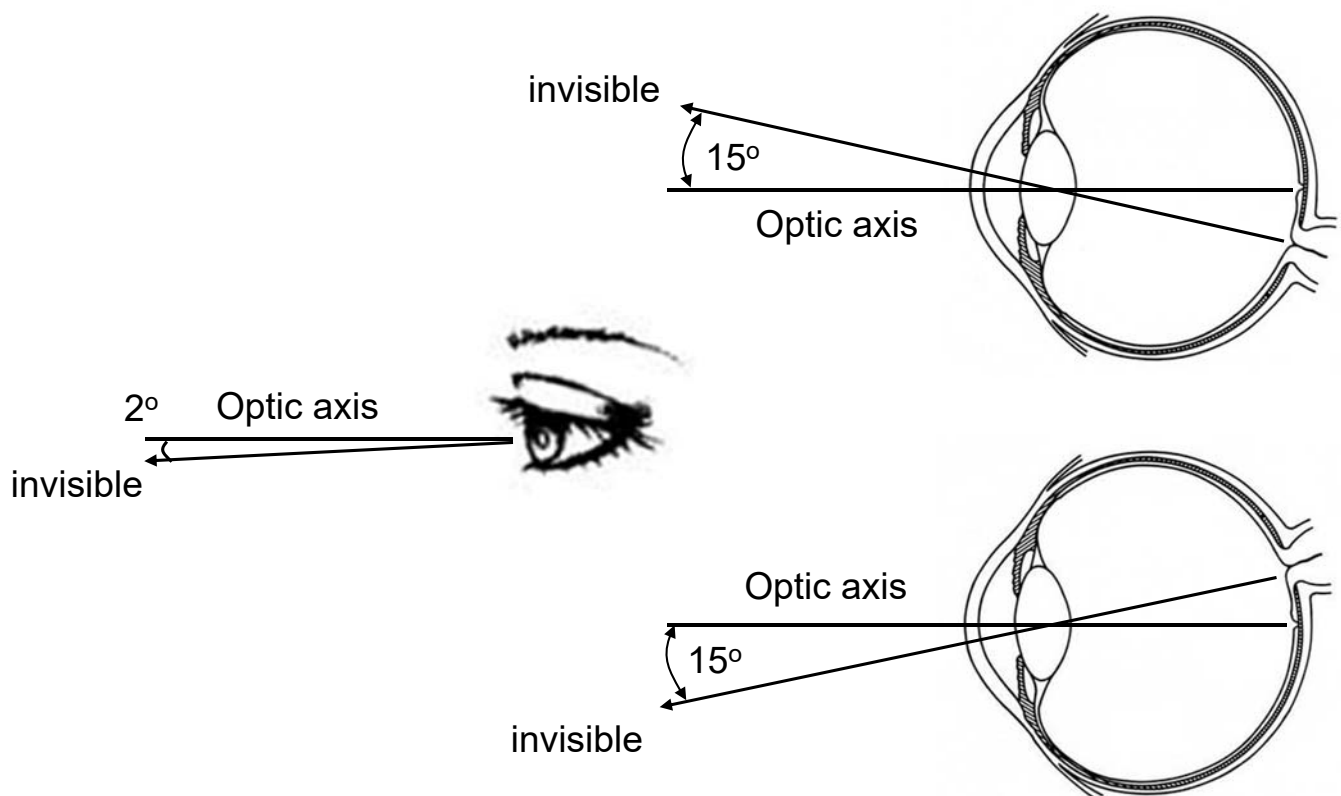
- ❁ 視網膜中的線條是微血管，視神經比微血管細且顏色與背景相似，所以看不到。



盲點視線 (Blind axis)

Side view

Top view



驗證左眼盲點區

將本書放在眼前約40公分遠處，右眼閉起來，左眼固定不動的盯著下圖 **+** 處看。這時你可以同時看到左側的 **●** 形。接著左眼持續盯著 **+** 形，再慢慢將本書靠近你的眼睛，在某一距離後，你會發現 **●** 形不見了；但仍持續移近本書；又在某一距離後，你發現 **●** 形又出現了。

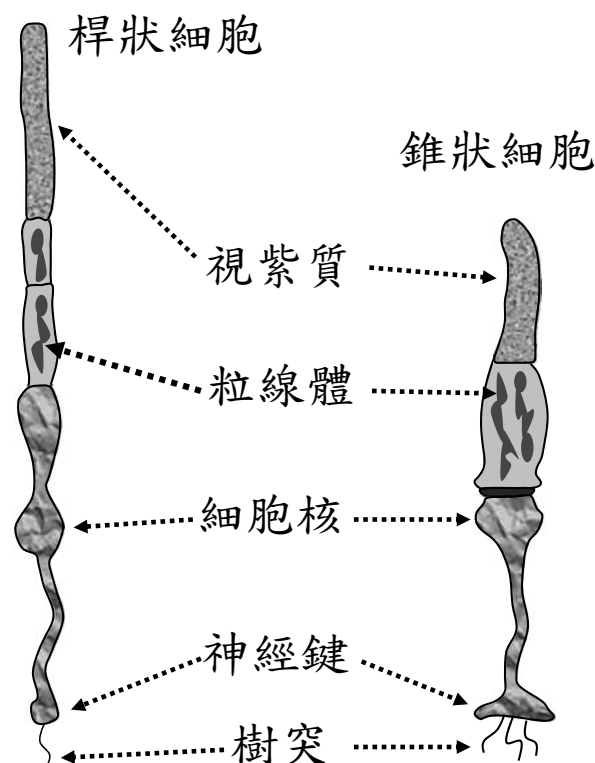


一樣閉右眼，左眼固定不動盯著 **+** 處看。遠近移動本書，你會發現左側斷線處，有時看到有時看不到。看不到斷線處，你會以為線是連續的。

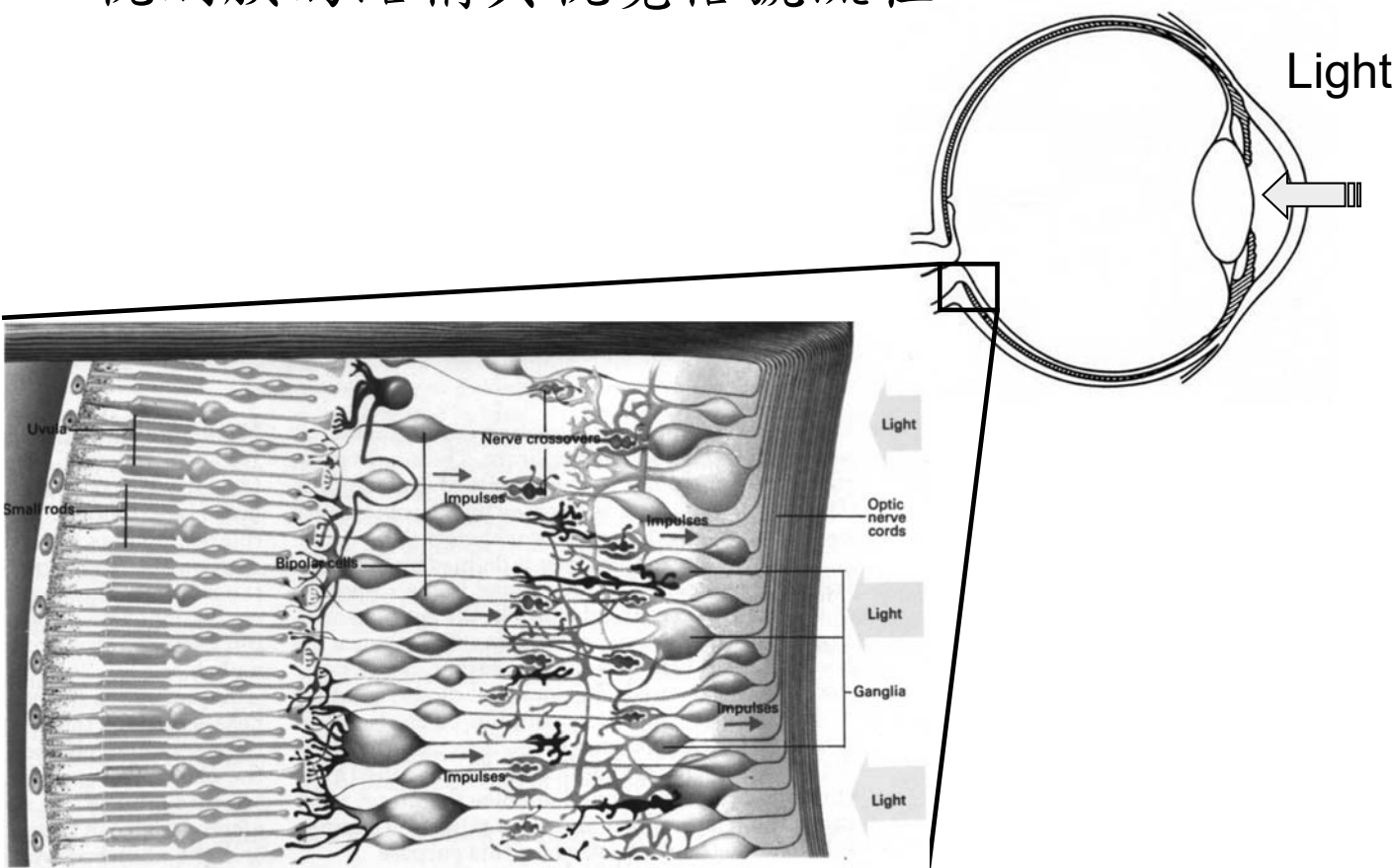


3.2.3 感光細胞

❁ 在視網膜上有二類
型感光細胞：
桿狀細胞 (rod) 與
錐狀細胞 (cone)。



❁ 視網膜的結構與視覺信號流程





- ✿ 桿狀細胞的數量較多，一個眼睛裡將近有1億個；其功能是感應光線亮度的強弱，對於光線的敏感度很高，微量光度就可感應到，所以這種感光機制就稱為暗視 (scotopic vision)；也就是在黑暗中還能看得到的意思。但桿狀細胞不能夠分辨顏色。
- ✿ 錐狀細胞的數量大約一個眼睛裡只有 500 ~700萬個。其感光能力比桿狀細胞弱了萬倍 ~ 十萬倍；所以錐狀細胞的感光機制稱為明視 (photopic vision)，意思是要在明亮一點的環境才會受到刺激，才能看得到。



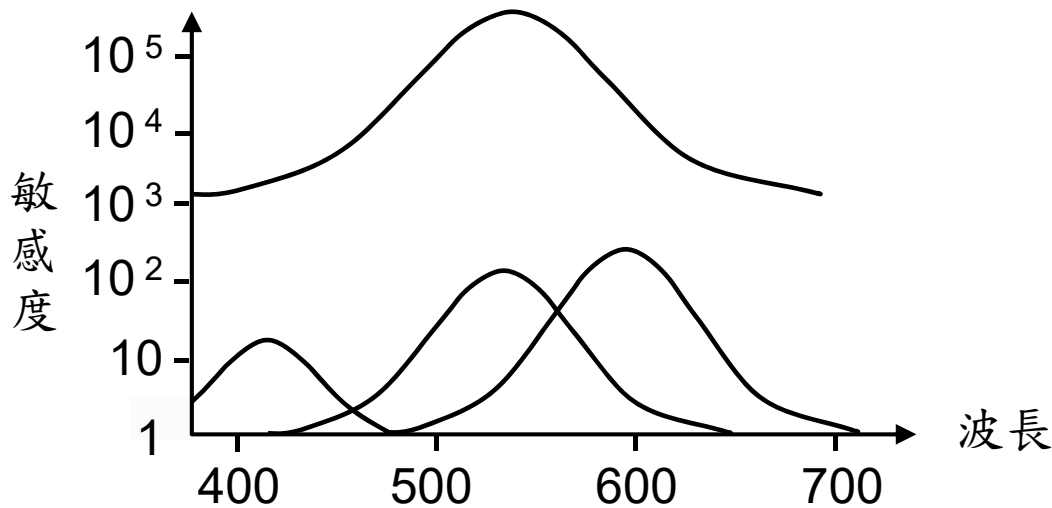
- ✿ 錐狀細胞依其感光分佈範圍又細分成短中長波感光錐狀細胞 (SML cone cells)，又稱為 β , γ , ρ 錐狀細胞 ($\beta = S$ 、 $\gamma = M$ 、 $\rho = L$)；也就是有三類型錐狀細胞，其感光波長範圍不同。
- ✿ 三類型錐狀細胞的感光範圍

錐狀細胞類型	名稱	感光範圍	感光峰值
S	β	400 - 500 nm	420 - 440 nm
M	γ	450 - 630 nm	534 - 545 nm
L	ρ	500 - 700 nm	564 - 580 nm

- ✿ 不同波長成份的綜合刺激信號傳送到大腦後，可以組合出各種不同感受，而讓人看到不同顏色。

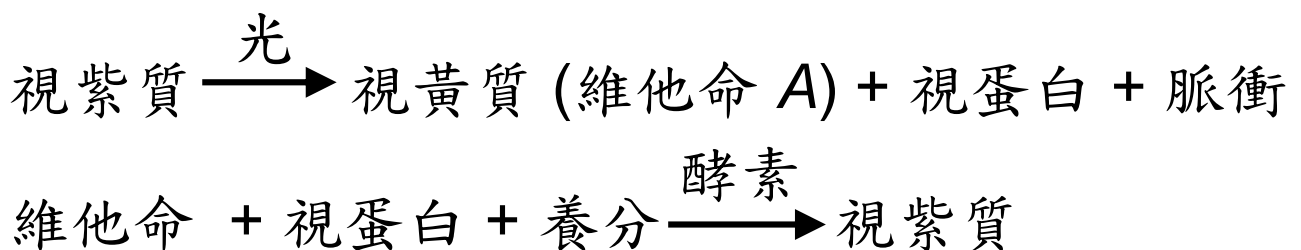


- ✿ 短中長波錐狀細胞的數量比值約為 $S:M:L \approx 1:20:40$ ；但這個數值在不同人身上有很大的差異。
- ✿ 上述三波長錐狀細胞有不同的感光強度曲線，其感光峰值所對應的色彩為藍綠紅。



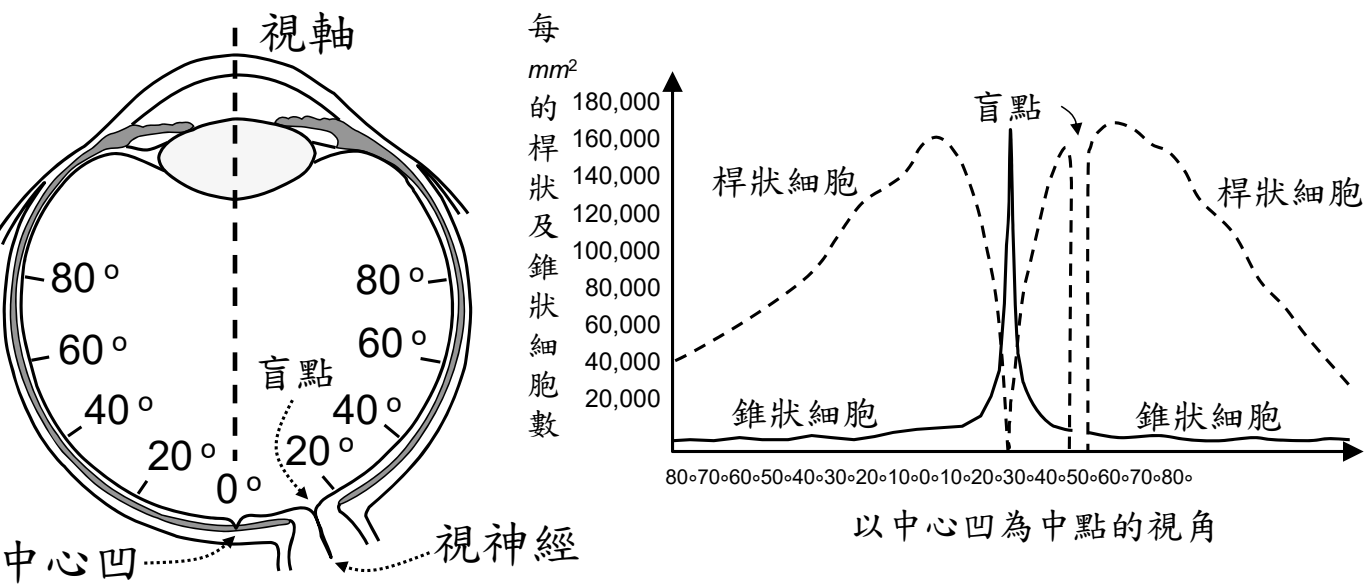
✿ 感光細胞的原理

感光細胞中有對光線十分敏感的感光色素 (photo pigment)，在桿狀細胞中稱為 rhodopsin，在錐狀細胞中稱為 iodopsin，兩者中文都稱為視紫質。視紫質碰到光線時會立刻產生化學變化；視紫質吸收光能，分解成視黃質 (retinene) 和視蛋白 (opsin)，同時產生脈衝 (impulse) 經視神經傳輸到大腦。視蛋白會經由酵素 (Enzyme) 及能量催化而結合成視紫質，以便再次循環使用。



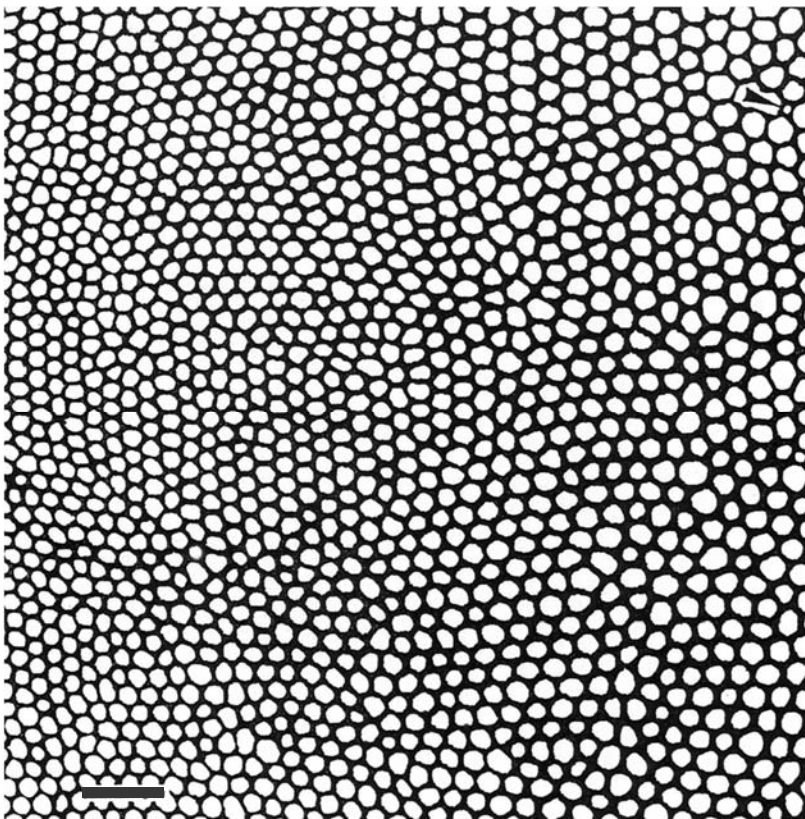
3.2.4 感光細胞的分佈

✿ 桿狀與錐狀細胞在視網膜上的分佈也不同，以左眼球水平切面的上視圖為例，如下圖所示。以水晶體為旋轉中心點，以角度表示在視網膜上左右不同的位置。中心凹在 0° 的位置。



✿ 人類視網膜的感光細胞排列並不是呈矩形或正方形，而是六角形的排列方式。

✿ 中心凹部位 (foveal cone) 的錐狀細胞分佈 with $10\mu m$ scale bar ($1\mu m = 10^{-6} m$).



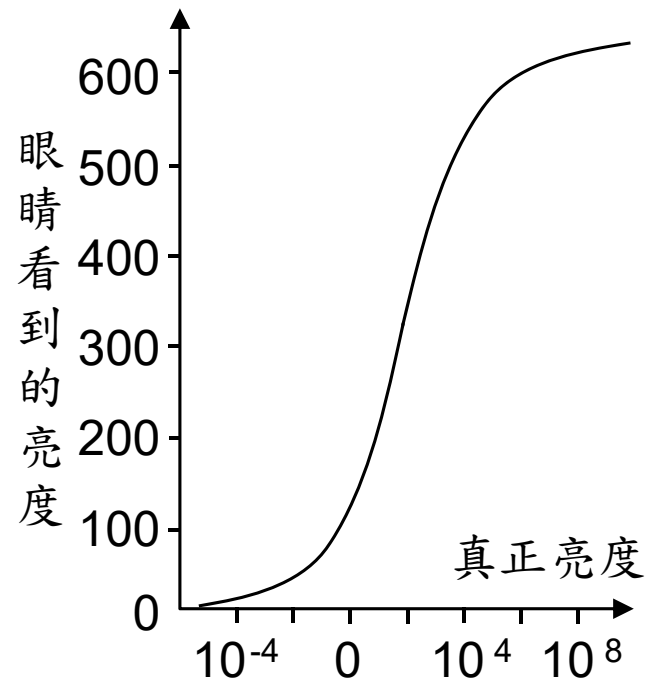


3.3 人類視覺的特性

- ✿ 本節將介紹人眼視覺的特性，包括一些在生理及心理方面不太常聽到的有趣現象。

3.3.1 感光曲線

- ✿ 光線強度 (luminance) 與眼睛所感受到的亮度 (apparent brightness 或簡稱為 brightness) 並非線性的關係。



3.3.2 周邊抑止 (lateral inhibition)

- ✿ 人類視覺系統有一個很重要的特性，稱為周邊抑止 (lateral inhibition) 的特性。周邊抑止是人眼視覺的一種生理機制 (physiological mechanism)；說得更準確點，周邊抑止是視覺神經系統中最普遍的架構之一。
- ✿ 神經系統的信號傳遞會有交相抑止的效應，也就是說某一感光細胞 C_1 受到光線的刺激會產生脈衝傳到下一層相對應的細胞 C_1' ，但也會產生抑止信號減弱鄰近感光細胞 C_2 傳送脈衝到下一層該相對應的細胞 C_2' 。這種抑止周邊神經反應的特性不只出現在視覺感受上，在聽覺及觸覺的感受上也都存在這種特性。



❁ 以下我們將介紹四種周邊抑止特性所造的現象 (phenomenon)：

1. 同時亮度對比 (simultaneous light contrast)
2. 同時色彩對比 (simultaneous color contrast)
3. 馬赫頻帶效應 (Mach band effect)
4. 赫曼網格幻影 (Hermann grid illusion)

這些現象完全是眼睛的周邊抑止特性加上一點其他特性綜合而成的。

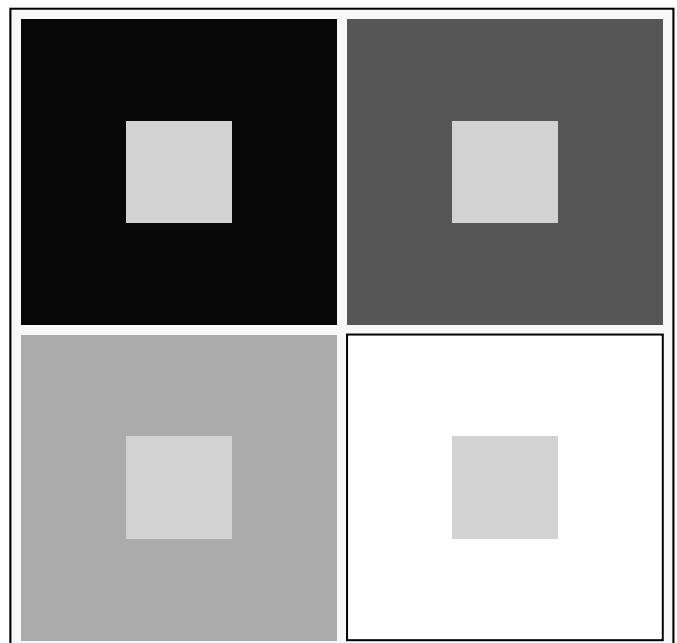


A. 同時亮度對比

下圖中有四個大區塊，顏色 (明暗度) 不同；各區塊中間有一小區塊。眼睛同時看中間的四個小

方塊，好像顏色

(apparent brightness) 不同；事實上這四個小方塊的顏色 (luminance) 是完全一樣的。這就是所謂的“同時亮度對比”的現象。

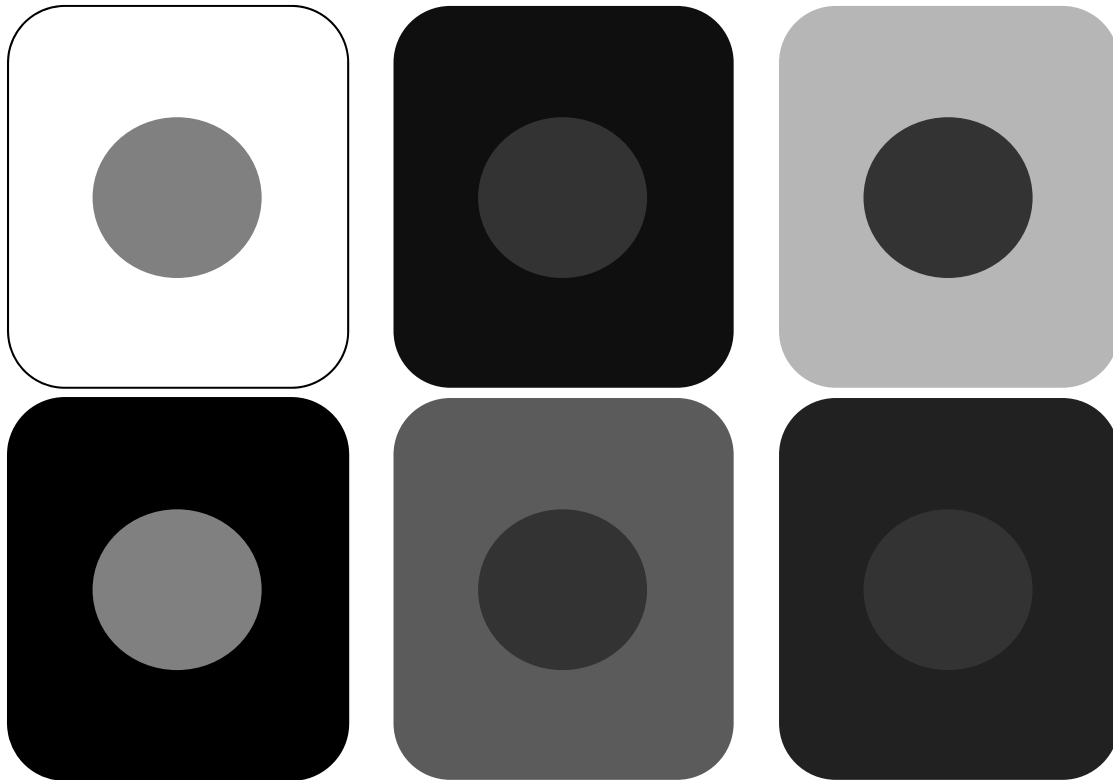


四個小方塊的顏色是完全一樣的。



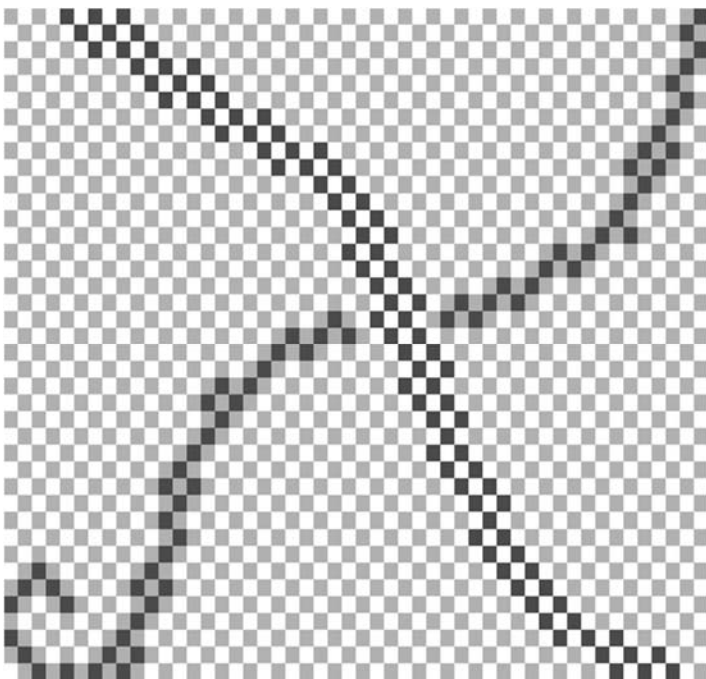
B. 同時色彩對比

上下兩圓一起看，顏色看起來好像不同，其實上下兩圓的顏色及亮度是完全一樣的。

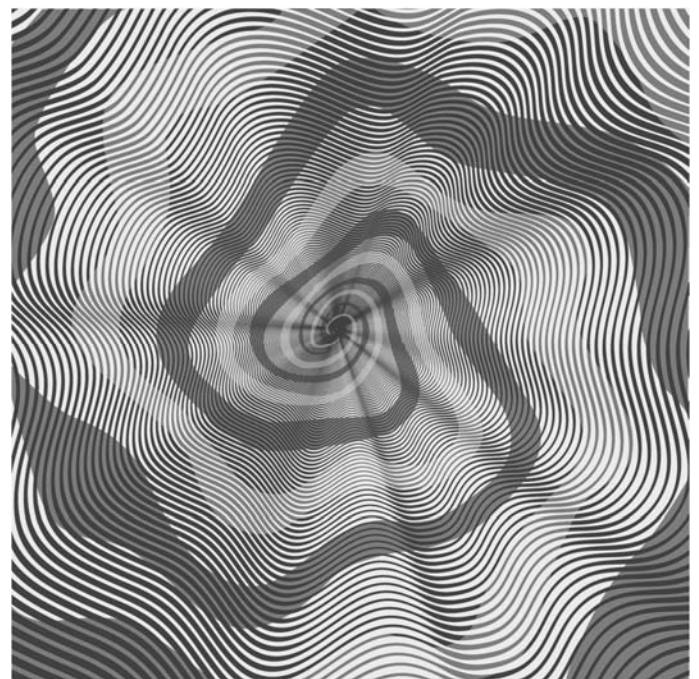


🌸 同時色彩對比實例。各影像內各有種顏色？

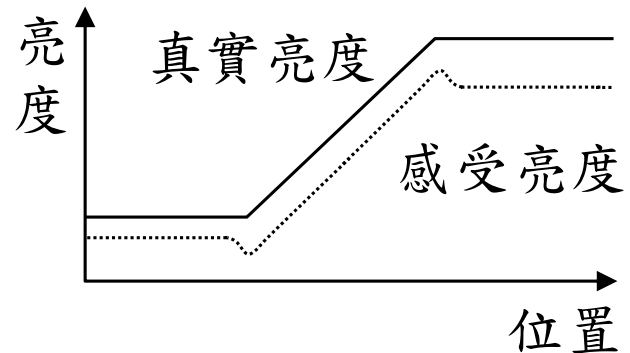
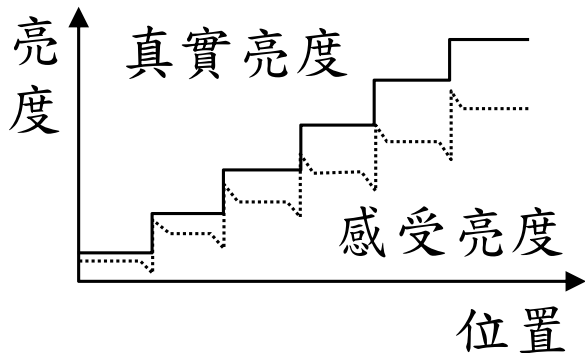
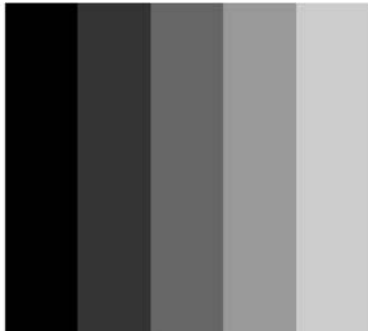
X 圖案。



螺旋 (spiral)。



C. 馬赫頻帶效應 (Mach band effect)

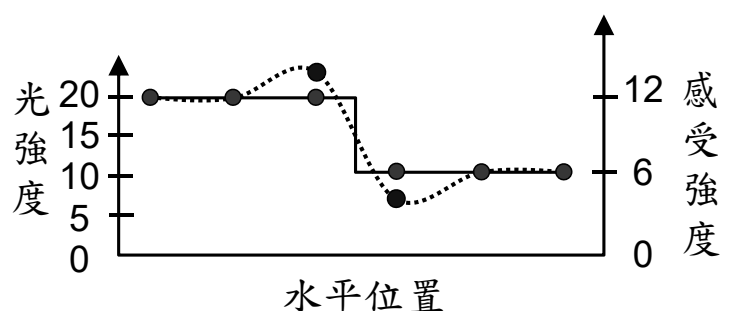
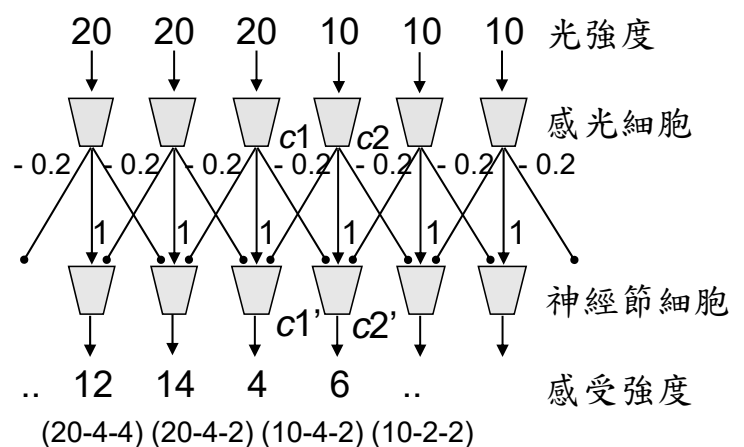


- 感受亮度 (brightness) 與真實亮度 (luminance) 並不是單調遞增函數的關係。

周邊抑止的一維神經網路

(馬赫頻帶效應的原理)

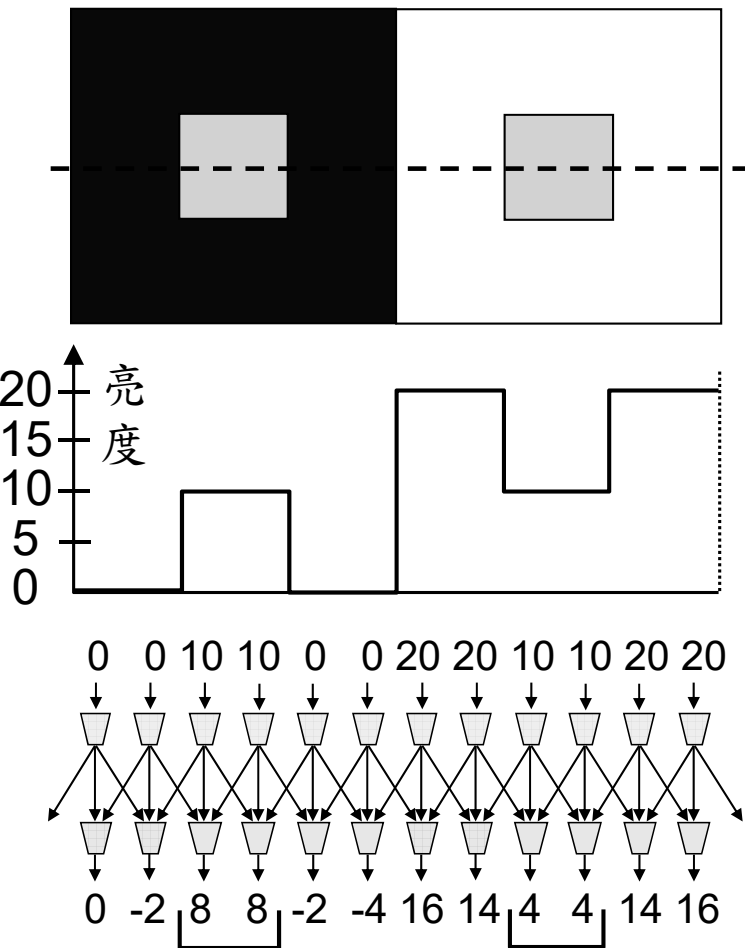
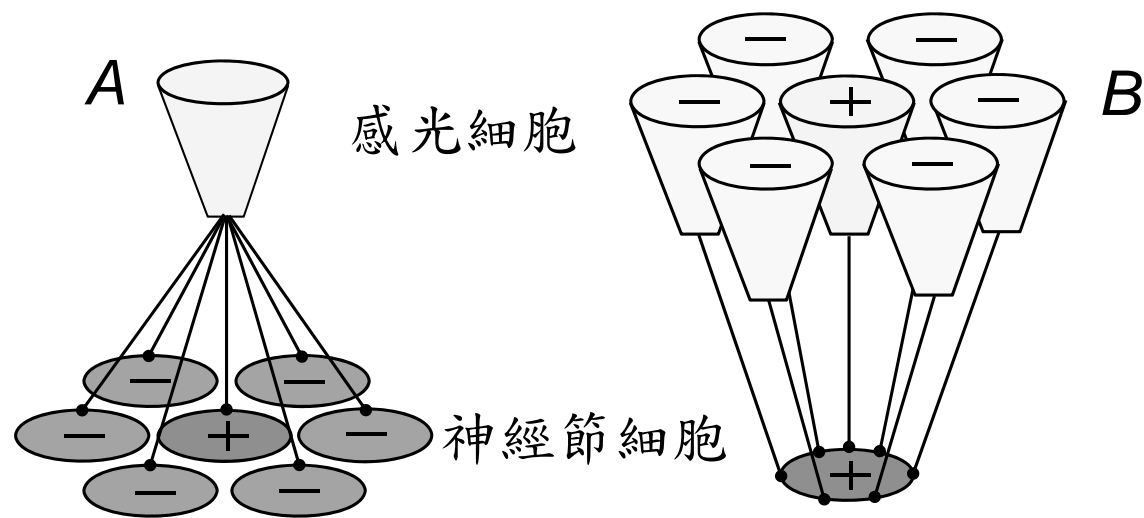
周邊抑制發生在雙層的神經網路中，當第一層相對應的神經元(或一組神經元)被刺激時，使第二層周邊的神經元聯結受抑制。在左圖中，雙層網路之間的刺激連接(箭頭處)以正數表示，抑制連接以負數表示。與多數神經網路模型相同，目的神經元的輸出值，是以輸入活化的神經元乘上其權重，並將所有輸入值加總。



周邊抑制的二維神經網路

A 是一個單一感光細胞以“刺激中心抑制周邊”的方式傳達脈衝到數個神經節細胞 (ganglion cell)。

B 是數個感光細胞形成一個刺激區，再以“中心刺激周邊抑制”的方式傳達脈衝到一個神經節細胞。

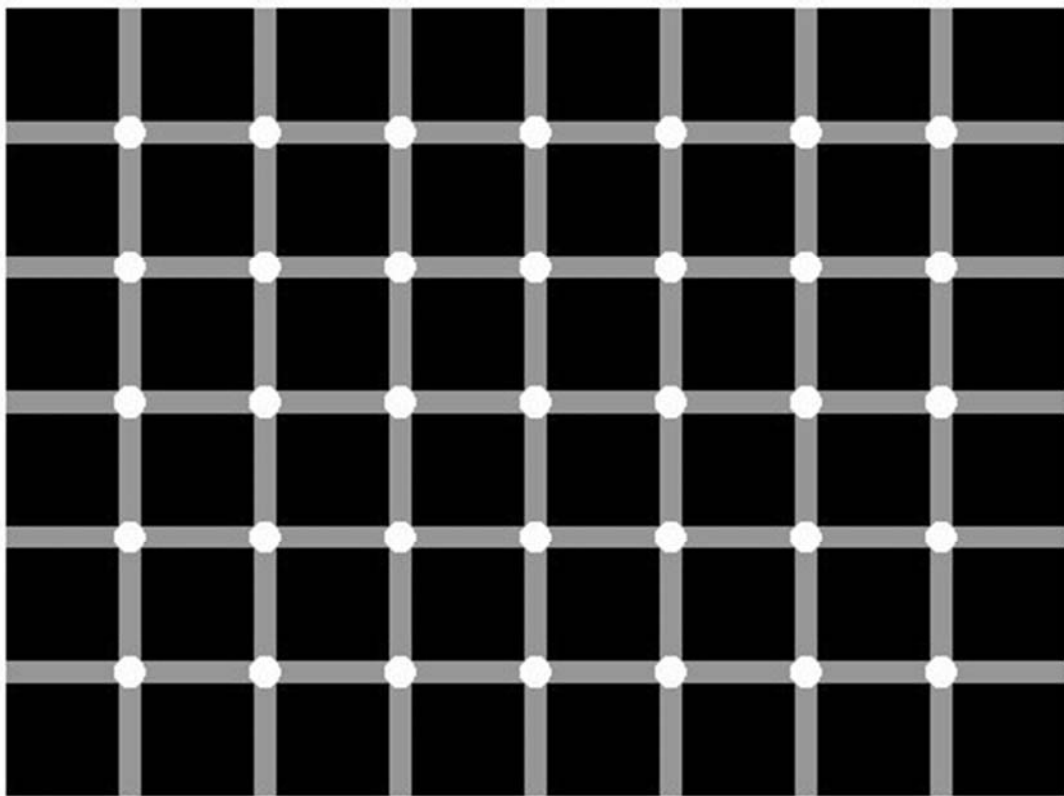


同時亮度對比說明

- A. 是同時亮度對比的範例。下圖表示上圖虛線處的亮度曲線，兩個小方塊具有相同的亮度 (luminance)。
- B. 是一維二階神經網路；經過周邊抑制作用後，左邊小方塊看起來比右邊小方塊暗 (apparent brightness)



D. 赫曼網格幻影 (Hermann grid illusion)



- 赫曼網格幻影 (Hermann grid illusion) 也是一種周邊抑制所產生的效應。看圖時，會有一些黑點出現在網格線交叉處的白色圓點內，且會閃爍。當眼睛凝視某一白色圓點時，此圓點附近的所有白色圓點內的黑點都不見了；黑點只出現在離凝視點較遠的白點內，而且黑點也不再閃爍了。
- 這種黑點現象是由周邊抑制特性所造成的。網格線交叉處的白色圓點旁有較多較白區域 (網格線)，因此產生較大的抑制作用，而造成視覺上黑點的現象。另外視網膜中心凹 (fovea) 區域有較少的周邊抑制效應，視網膜周邊 (periphery) 區域有較大的周邊抑制效應；因此眼睛凝視某處時，此處就比較沒有抑制現象，視線周邊處就有較顯著的抑制現象。



- 最後白色圓點內的黑點會閃爍的原因，其實是個人在觀看赫曼網格時，眼睛 (視線) 因為好奇閃爍現象而在網格圖上到處漂移所造成的。

- **結論**

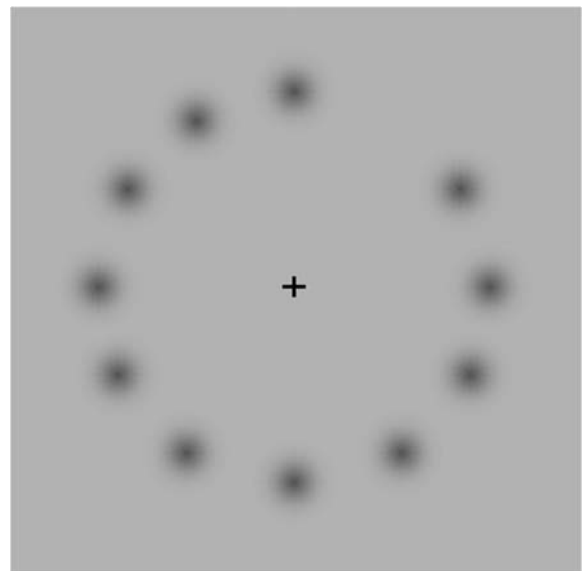
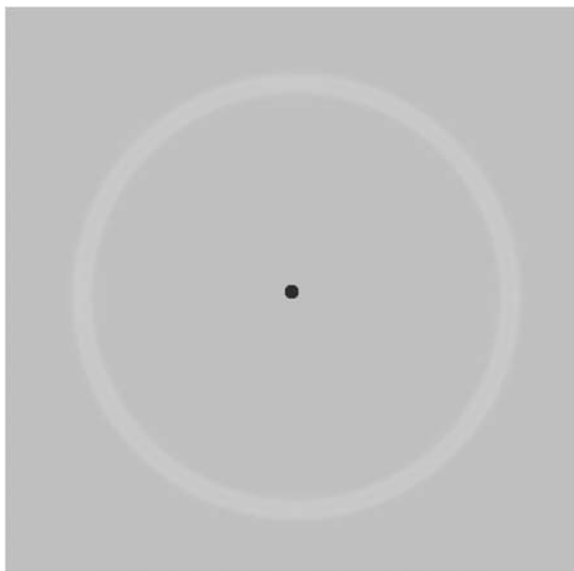
赫曼網格幻影 (Hermann grid illusion) 的黑點閃爍現象是由三個因素所造成的，缺一不可：

- i. 周邊抑制效應
- ii. 視網膜中心凹 (fovea) 區域與周邊 (periphery) 區域有不同程度的周邊抑制效應
- iii. 眼睛視線一直在網格影像上到處漂移。



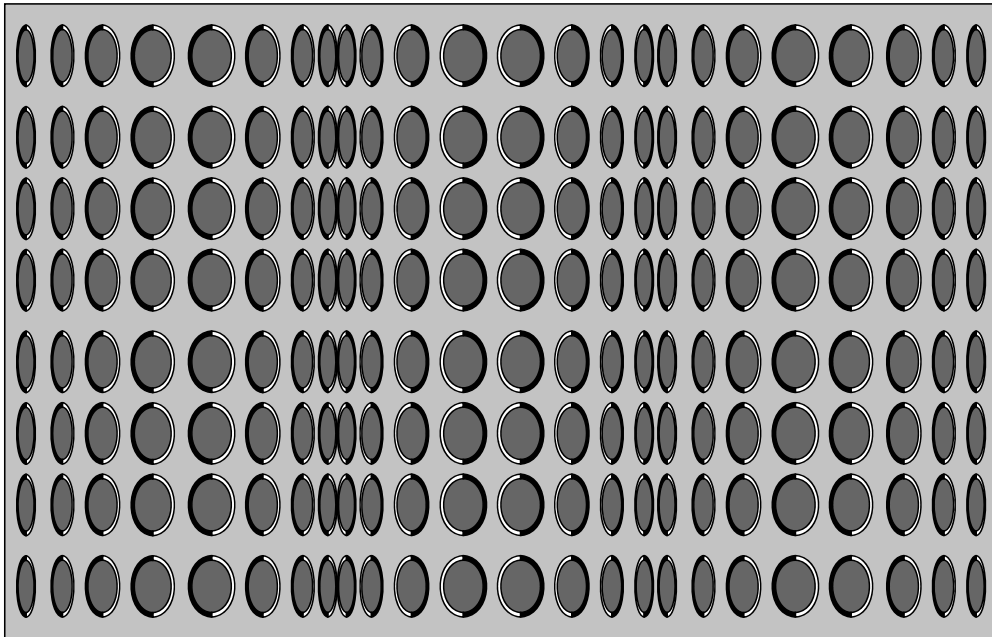
E. 眼球的微顫動 (microsaccade)

- 凝視 (fixation) 圖中的色點，刻意固定眼球不動；你會發現圖中的淺藍或淺紅色圈會慢慢消失。只要稍微動了一下眼球，該色圈即刻出現。這個特性是瑞士物理學家裘斯勒 (Ignaz Paul Vital Troxler) 在1804年所發現的裘斯勒褪色或效應 (Troxler's fading or Troxler's effect)。





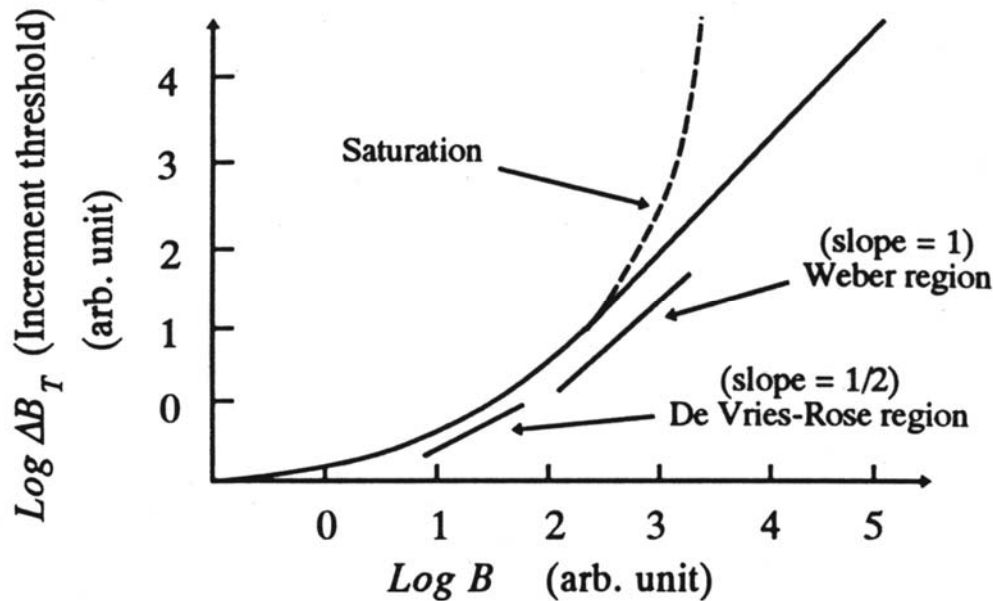
- 刻意或不經意的讓你的視線在圖中左右移動，你會或多或少看到似乎有三個圓筒左右滾動。這是眼球運動所造成的錯覺 - 微顫動 (microsaccade)。



3.3.3 剛好可分辨的差異

- 剛好可分辨的差異 (just noticeable difference, *JND*) 是指一個彩色 (灰階) 物體放在同一色彩 (灰階) 的背景前。物體與背景的颜色完全一樣，所以我們看不到該物體；接著再逐漸改變該物體的颜色，當我們可以看到該物體的那一瞬間紀錄該物體的颜色改變量，這個改變量就稱為“剛好可分辨的差異”值，也就是剛剛好可以察覺出來的差異值。
- 剛好可分辨的差異值並不是固定的，是會隨背景的颜色而改變的；也就是說“剛好可分辨的差異值”是背景颜色的函數；而且這個函數是非線性的。





The increment threshold ΔB_T as a function of reference intensity B .



3.3.4 色彩認知的特性

✿ 眼睛看色彩的特性，也就是影響色彩判定的因素 (factors for color discrimination)：

A. 人眼無法分解基本色彩的成份

B. 色彩的調適能力 (chromatic adaptation)

眼睛對色彩的分辨能力會受到剛剛所看到色彩的影響。色彩飽和度的增減也會影響色彩判定的能力。

C. 亮度 (Luminance) 充分才能分辨顏色

若物體表面的亮度小於 3.5 cd/m^2 (亮度單位)，則眼睛很難看到該物體。 cd 是光強度單位，稱為燭光 (candela, cd)。筆記電腦螢幕約為 $100 - 180 \text{ cd/m}^2$ ；桌上型LCD顯示器約為 $150 - 250 \text{ cd/m}^2$ 。



D. 持續曝光時間 (duration) 要足夠才能分辨顏色
人眼對於色彩的感受會受到持續時間長短的影響。
若持續刺激時間小於 0.02 秒，則無法分辨該顏色

E. 物體面積夠大才能分辨色彩
眼睛看物體，若該物體的體積 (面積) 很小的話，其刺激錐狀細胞所累積的光亮，不足以讓錐狀細胞產生反應，眼睛就看不到那個物體 (的顏色)。

F. 正眼看顏色才正確
視網膜中心凹的感色細胞密度高，會感受到較高的色彩飽和度；在周邊處，密度低，感受到的飽和度就較低。所以正眼看顏色與側眼睛看顏色，感覺會有不同的。一般人看東西，都是正眼看，所以判斷顏色自然是以中心凹附近的感受為主。



3.3.5 眼睛的景深適應能力 (Accommodation of depth of field)

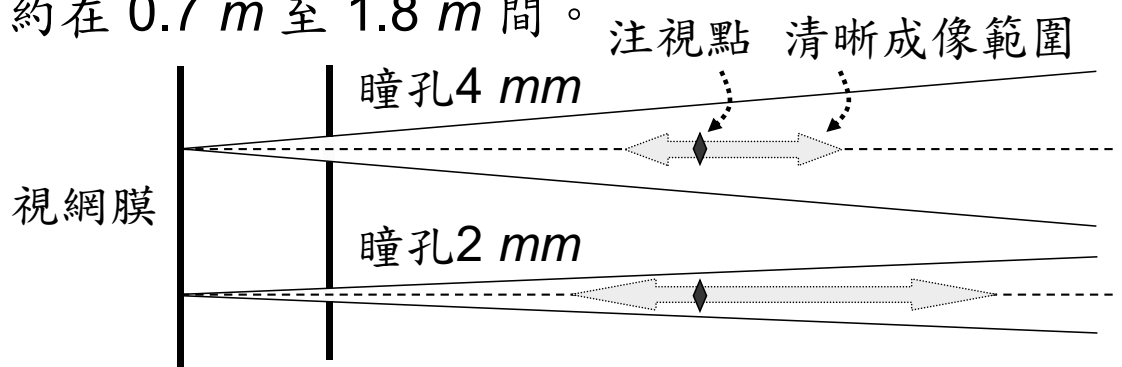


景深短

景深長

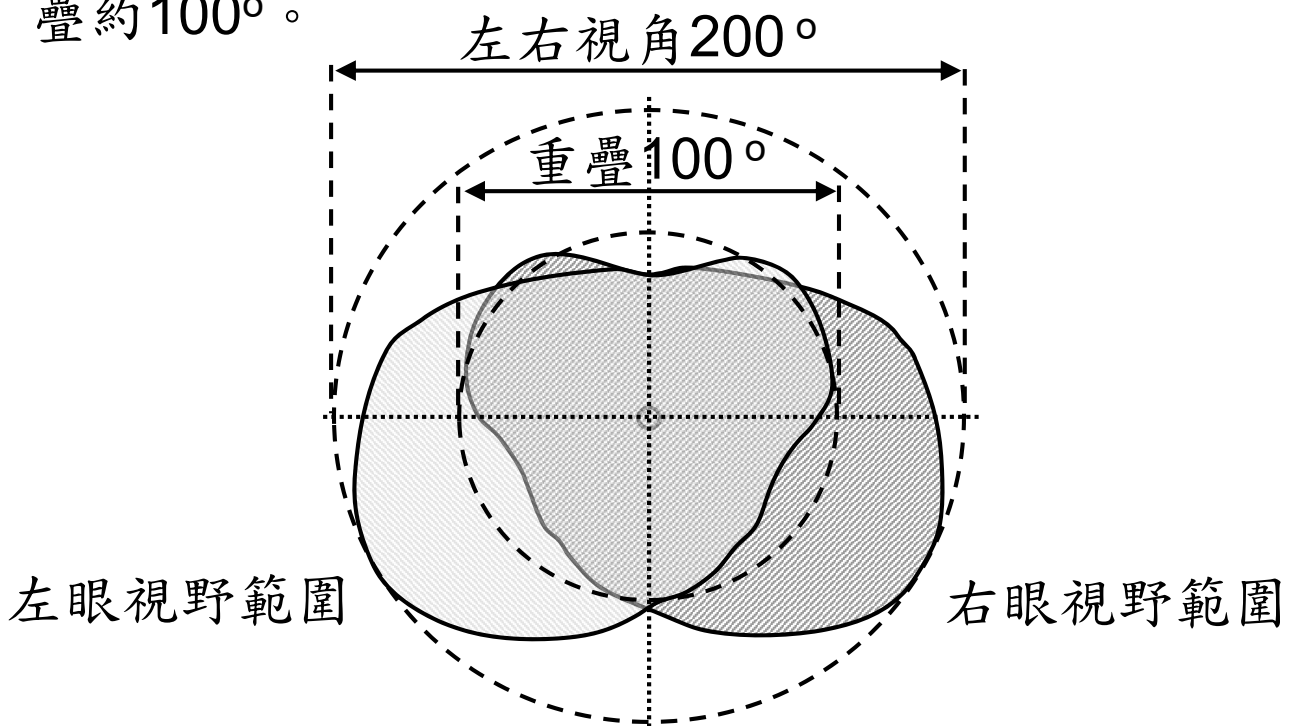


- ❁ 瞳孔可以調整眼睛的進光量亦可改變視野景深
- ❁ 瞳孔收縮到最小時直徑只有 1.5 mm ，而擴散到最大時直徑則有 8.5 mm ，兩者相差 5.6 倍。進入眼睛的光線相差 30 多倍
- ❁ 在瞳孔直徑為 4 mm 時，注視無窮遠處，景深範圍約從眼前 3.5 m 至無窮遠處；注視 1 m 處，景深範圍約在 0.8 m 到 1.4 m 之間。
- ❁ 當光線亮度增大，瞳孔直徑縮小為 2 mm 時，注視無窮遠處的景深範圍約為 2.3 m 至無窮遠處；注視 1 m 處，景深範圍約在 0.7 m 至 1.8 m 間。



3.3.6 眼睛的視野範圍 (View of field)

- ❁ 單眼瞬間 (instantaneous) 視角約上下 120° ，左右 150° 。而雙眼視角約上下 120° ，左右 200° ，中央重疊約 100° 。



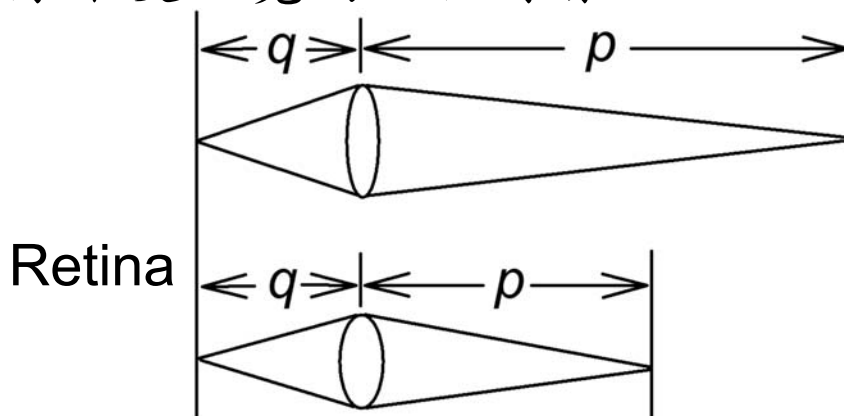
3.3.7 深度知覺的線索

- ❁ 立體視覺 (stereo vision) 的目的是要從影像中的位置資訊反推論出在三度空間中的位置資訊。
- ❁ 人眼深度知覺的線索 (depth cue) 可分為生理 (physiological) 及心理 (psychological) 兩方面。
基本上生理線索可推論出 絕對距離，
心理線索可推論出 相對距離。

A. 生理方面線索

(a) 眼睛的適應力 (Accommodation)

水晶體厚約 4 mm，平常睫狀肌放鬆，水晶體扁平，可以看到遠方；看近時睫狀肌必須拉緊，使水晶體變厚。眼睛看遠看近會自動調整水晶體對焦以求得最清晰的畫面。水晶體的改變是人類獲得深度知覺的一個線索。



q : 像距

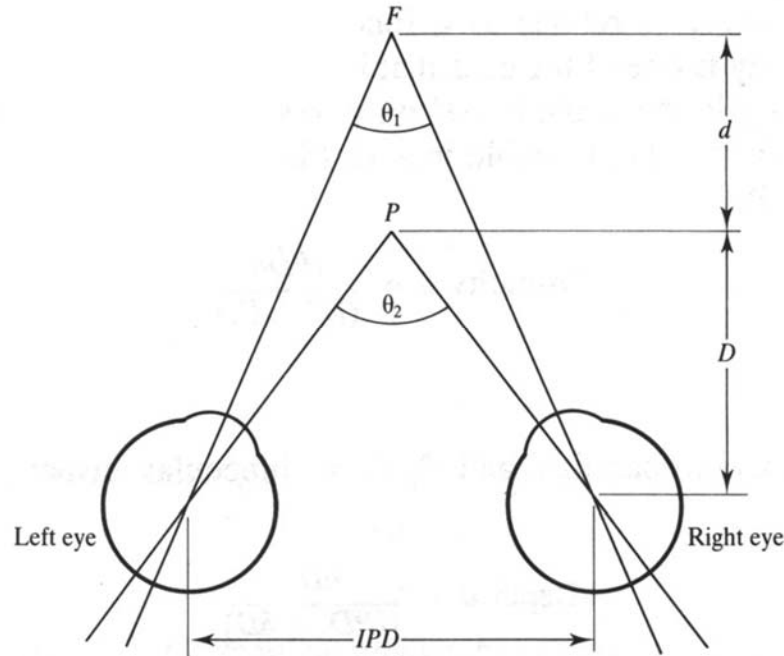
p : 物距

f : 焦距

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$$

(b) 雙眼視線的收斂性 (Convergence)

雙眼看遠看近眼球會左右轉動改變視角對焦以注視目標物。

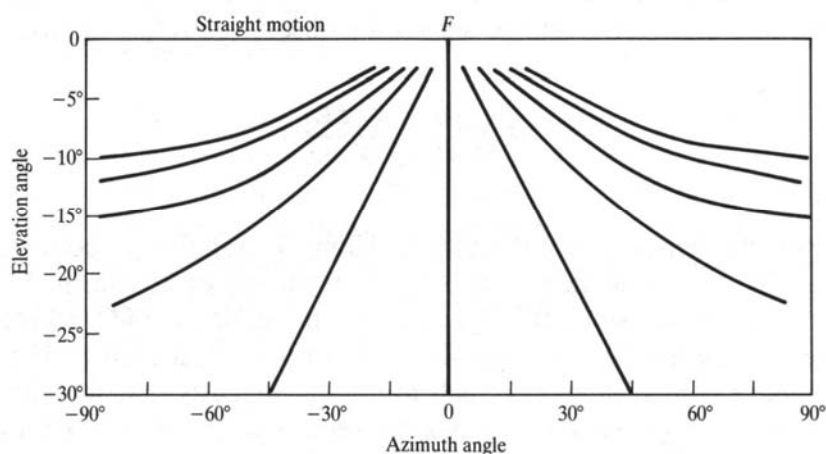


(c) 雙眼像差 (Binocular disparity)

雙眼視網膜上之映像在水方向的距離。

(d) 移動視差 (Motion parallax)

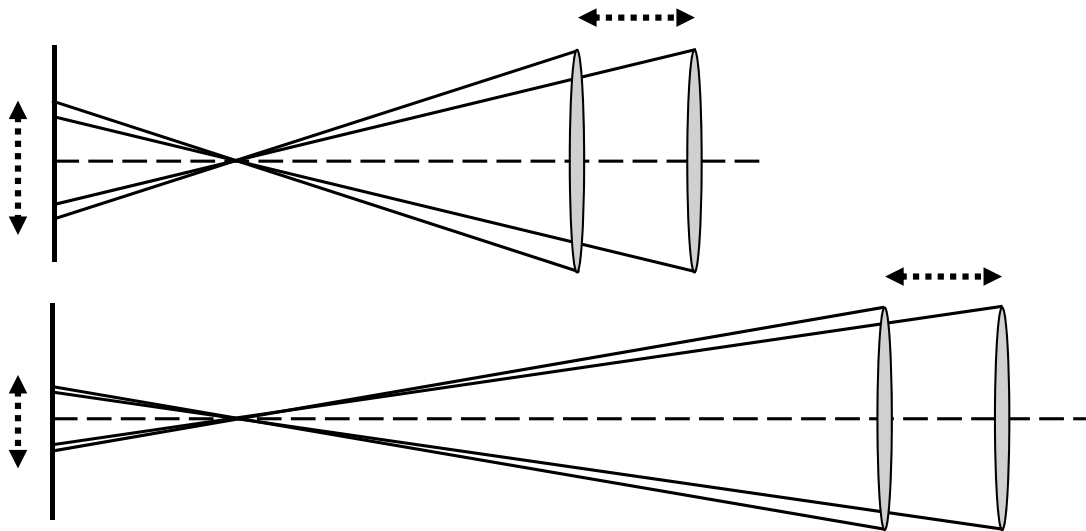
移動中的眼睛看到近距離物體的相對移動速度比遠距離物體的相對移動速度快。



B. 心理方面的線索

(a) 線性透視效果 (Linear perspective)

物體成像在視網膜上的大小改變和物體到眼睛的距離成反比。



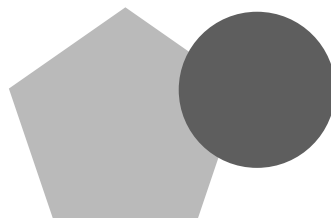
(b) 漸層和陰影 (Shading and shadows)

物體曲面的漸層顏色變化及物體造成的陰影都可以用來決定物體與觀測點的相對距離。



(c) 重疊 (Overlap)

物體前後部份重疊與遮蔽可以顯示物體間的前後相對位置





(d) 物體大小的恆常性 (Size constancy)

物體的大小是深度知覺的一個線索。但當眼睛看到熟悉的物體時，心理上常會傾向認定為熟悉的大小而忽略視網膜上成像的大小。如此會誤導深度知覺。

(e) 紋理層次

(Texture gradients)

距離愈遠，紋理將會愈小愈密集。

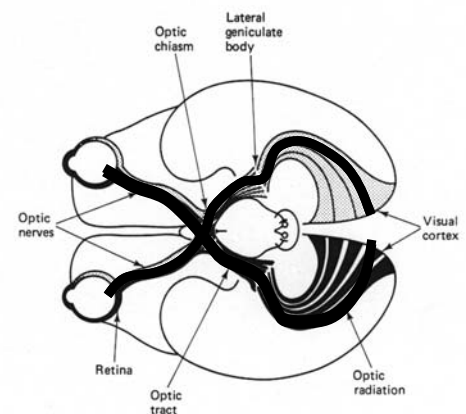


3.3.8 雙眼視覺 (Binocular vision)

✿ 並非所有動物都有雙眼視覺 (binocular vision).

✿ 類別

1. 半交錯 (semidecussation)：這類型動物具有雙眼視覺能力，其雙眼視野 (visual fields) 有很大的重疊範圍。它們的視覺神經在視神經交叉 (optic chiasma) 處是呈現半交錯 (semi-chiastic) 的結構；例如，人類、狗、貓、及猴子等。此類動物可透過像差 (disparity) 原理產生立體視覺。





2. 交錯 (Decussation)：這類型動物的雙眼視野有很大的重疊範圍，但它們的視神經交叉處呈現完全交錯 (fully chiastic) 的結構；例如，青蛙、貓頭鷹等。這類型動物不具備雙眼立體視覺的能力。
3. 交錯 (Decussation)：這類型動物 (即使是哺乳動物) 的雙眼視野有很小的重疊範圍，而且它們的視神經交叉處也呈現完全交錯的結構；例如，兔子、山羊等。這類型動物也不具備雙眼立體視覺的能力。
4. 交錯 (Decussation)：這類型動物的雙眼視野範圍完全不重疊，其視神經交叉處也呈完全交錯的結構；例如，魚、鳥、獵鷹 (hawk) 等。這類型動物也沒有雙眼立體視覺能力。



- ✿ 基本上，有雙眼立體視覺能力的動物在轉動眼睛時一定是雙眼同時且同向 (synchronously) 轉動；沒有雙眼立體視覺能力的動物則不一定；例如，變色龍 (chameleon or anole)。



3.4 人類視覺與電腦視覺比較

✿ 大部份的中高等生物都有視覺感應器 (visual sensor)；人的視覺感應器就是眼睛。人類視覺系統不僅可以看見東西，還能認知所看到的東西；所以除了眼睛這個感應器外，還要有許多機制來配合；例如，視覺傳輸及視覺處理兩個子系統。人類視覺系統 (human visual system) 至少就是包含了這三個子系統。人類視覺系統可以認知物體的大小、形狀、方位、遠近、移動速度、顏色、及各種想像不到的技能；所以電腦視覺也應該具備有這些功能。

✿ 人眼視覺與電腦視覺的比較

人眼視覺	電腦視覺
<ul style="list-style-type: none">◆ 有一億個以上的感光元件◆ 是一個平行處理機◆ 有優先認知的能力◆ 有學習的能力◆ 有時間序列的相互關聯能力◆ 有適應亮度色彩變化的能力◆ 有方向大小無關的辨識能力◆ 有特殊的特性◆ 有其他感應器官協助	<ul style="list-style-type: none">◆ 只有百萬個感光元件◆ 是一個循序處理機
<ul style="list-style-type: none">◆ 長時間使用會疲勞◆ 只能看可見光	<ul style="list-style-type: none">◆ 準確◆ 可以看多種電磁波



- ✿ 從上述比較可以知道電腦視覺的先天不足；特別是少了人眼視覺的
 - (i) 高解析度影像快速處理的能力，
 - (ii) 影像平行處理的功能，
 - (iii) 環境優先認知的能力，
 - (iv) 認知學習的功能、
 - (v) 時間序列影像相互關聯的功能，
 - (vi) 可適應環境亮度與色彩的變化，
 - (vii) 具有與方向及大小無關的辨識能力，
 - (viii) 具有特殊的特性；例如，注意力，
 - (ix) 五官同時運作且相輔相成的功能；例如，耳聽及觸感隨時都在協助眼看，讓視覺產生更大的功效。



- ✿ 電腦視覺先天不足的問題，主要靠後天演算法軟體的協助，才能創造出有用的自動化視覺偵測、檢測、分辨、認知、分析等系統。
- ✿ 但是發展這些演算法則有時非常困難；例如，光線不足，亮度不均勻、背景複雜、解析度不夠、影像品質不好、無深度資訊、..等。所以視覺判斷前，要先做影像處理，以分攤或減輕電腦視覺的負擔。
- ✿ 人眼視覺在上述這些問題上似乎較不困難；因此我們可以針對上一頁的部份電腦視覺之不足，發展相關技術。



- ✿ 針對上述電腦視覺的不足，我們可以：
 - (i) 提高影像解析度，配合 *GPU* 發展平行處理演算法，
 - (ii) 發展具有學習功能的演算法，
 - (iii) 發展連續影像相互關聯的演算法，
 - (iv) 發展可適應亮度與色彩變化的偵測演算法，
 - (v) 發展與大小、方向無關的辨識技術，
 - (vi) 具有特殊的特性；例如，注意力，
 - (vii) 增加其他互補功能的偵測器相輔運作。
- ✿ 充分應用電腦視覺的“計算準確”與“多頻譜電磁波感測”的特性，以提高電腦視覺的實用性。



- ✿ 電腦視覺產品的技術發展項目
 - i. 視覺偵測演算法 (軟體)
 - ii. 嵌入式系統實現或晶片化 (韌體)
 - iii. 基板電路設計 (硬體)
- ✿ 嵌入式韌體與硬體可多樣性應用，但變異不大，是廠商的強項。
- ✿ 一決勝負的關鍵是“電腦視覺”的軟體技術，但技術養成難度高、時間長、成果好壞難辨..... (慢慢的)
軟體技術變成了廠商最欠缺的技術